

УДК 519.677

ЭВРИСТИКА И ЧИСЛЕННЫЙ МЕТОД НОРМАЛИЗАЦИИ ЭМПИРИЧЕСКОГО V^{TF} -КОНТЕКСТА В ОНТОЛОГИЧЕСКОМ АНАЛИЗЕ ДАННЫХ

Семенова Валентина Андреевна

м.н.с. лаборатории анализа и моделирования сложных систем,

e-mail: queenbfjr@gmail.com,

Самарский федеральный исследовательский центр РАН,
Институт проблем управления сложными системами РАН
443020 г. Самара, ул. Садовая, 61.

Аннотация. Областью исследования является онтологический анализ данных, заключающийся в построении формальных онтологий на основе эмпирических данных о слабоструктурированных предметных областях. Предметом исследования является нормализация эмпирического V^{TF} -контекста – нестрогого соответствия «объекты-свойства» – при ограничениях существования свойств. Задача исследования состоит в разработке численного метода, который реализует эвристический подход к нормализации эмпирических контекстов. В работе используются методы теории множеств и бинарных отношений, модели и методы анализа формальных понятий, а также существующая методология применения ограничений существования свойств для построения формальных онтологий. Отличие и новизна предложенного метода заключаются в более эффективной реализации эвристического подхода за счёт представления системы измеряемых свойств – множества фиксируемых у объектов исследуемой предметной области свойств с заданными на нём ограничениями существования – в виде совокупности субструктур, однородных по виду экзистенциального сопряжения свойств-членов.

Ключевые слова: онтологический анализ данных, эмпирический контекст, V^{TF} -логика, система измеряемых свойств, группа сопряженных свойств, нормальное множество, манхэттенская метрика.

Цитирование: Семенова В. А. Эвристика и численный метод нормализации эмпирического V^{TF} -контекста в онтологическом анализе данных // Информационные и математические технологии в науке и управлении. 2021. № 2 (22). С. 61- 69. DOI:10.38028/ESI.2021.22.2.006

Введение. Онтологический анализ данных (ОАД) – комплекс моделей и методов для выявления понятийной структуры, интересующей субъекта предметной области (ПрО) на основе эмпирических данных [1]. ОАД – прагматическая надстройка анализа формальных понятий (АФП) [2, 3], позволяющая обрабатывать неполные и противоречивые данные о ПрО. Двухаспектная векторная V^{TF} -логика [4, 5] используется в ОАД для отражения реалий накопления эмпирической информации, интерпретации её неполноты и противоречивости при формировании эмпирических контекстов (соответствий) «объекты–свойства» [6]. Такие контексты состояются из V^{TF} -оценок истинности так называемых базовых семантических суждений (БСС) вида «объект g имеет свойство m ». Из бинарной аппроксимации эмпирического V^{TF} -контекста АФП-методами может быть извлечено частично упорядоченное множество формальных понятий, которое составит скелет формальной онтологии исследуемой ПрО.

В [7, 8] показана необходимость совмещения этого подхода с менее известной методикой онтологического инжиниринга, основанной на концепции ограничений существования свойств (ОСС) [9, 10]. Это потребовало введение в ОАД еще одного «передела» в обработку эмпирических данных – нормализации исходного контекста «объекты-свойства».

Цель данной статьи – представить эффективный метод нормализации нестрогого формального контекста, который по природе является эвристическим (т.е. реализует

некоторые рациональные действия, гарантирующие решение задачи нормализации) и численным (т.е. доставляет решение лишь при конкретных исходных данных).

1. Ограничения существования и нормальные множества свойств. Постулатом при изучении актуальной ПрО является утверждение о существовании множества составляющих её объектов G . Однако «в поле зрения» субъекта обычно оказывается лишь конечное подмножество $G^* \subseteq G$, а, кроме того, субъект фактически не использует объекты как таковые, а эксплуатирует их свойства.

Согласно [7, 8] определение а ргіогу состава конечного множества M подлежащих измерению свойств объектов G^* в когнитивном плане есть не что иное, как выдвижение гипотез об искомой понятийной структуре актуальной ПрО. При этом, кроме очевидного комбинаторного синтеза гипотетических понятий, могут использоваться еще два (и согласно классической логике [11, 12] только два) приема их формирования: деление и ограничение гипотетических понятий. Эти способы и устанавливают ОСС – бинарные экзистенциальные отношения на множестве M :

- обусловленность $C: M \times M \rightarrow \{\text{True}, \text{False}\}$, когда наперед устанавливается, что, обладая свойством $x \in M$, всякий объект $g \in G$ непременно обладает свойством $y \in M$ (хотя обратное может быть неверно);
- несовместимость $E: M \times M \rightarrow \{\text{True}, \text{False}\}$, когда предопределяется, что, обладая свойством x , всякий объект $g \in G$ заведомо не обладает свойством y , и наоборот.

Т.о., а ргіогу субъект формирует (M, C, E) – систему измеряемых свойств, далее СИС, естественным описанием которой служит граф, в котором множество M определяет вершины, а отношения C и E – дуги и ребра соответственно [13].

Система измеряемых свойств (M, C, E) гипотетически предопределяет, что всякий объект $g \in G$ может обладать лишь «нормальным» подмножеством множества измеряемых свойств $N \subseteq M$ [10]: N содержит все свойства, обусловленные любым его элементом, и любые два элемента N не связаны отношением несовместимости.

В общем случае, после применения порога доверия (рисунок 1 иллюстрирует это действие для V^{TF} -оценок истинности), заданного пользователем, объект может характеризоваться множеством свойств, которое не является нормальным, поэтому возникает необходимость в нормализации обрабатываемого эмпирического контекста.

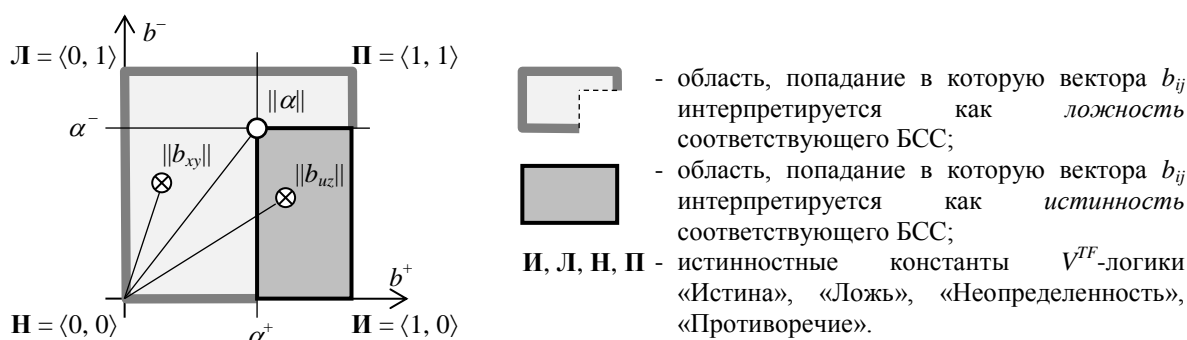


Рис. 1. Применение порога доверия $\alpha = \langle \alpha^+, \alpha^- \rangle$

2. Задача нормализации эмпирического контекста и подходы к её решению.

Очевидно, что эта задача решается сепарабельно для каждого объекта в контексте, причем можно предложить два подхода:

- поиск всех нормальных подмножеств множества свойств объекта с последующим выбором по некоторым критериям одного из нормальных подмножеств в качестве суррогата, представляющего свойства объекта в эмпирическом контексте;

- эвристический подход [14, 15], заключающийся в последовательном выполнении шагов «поиск нарушителей ОСС во множестве свойств объекта / исключение из множества свойств объекта свойства-нарушителя по критерию минимального ужесточения порога доверия к данным, установленного субъектом» до тех пор, пока будут обнаруживаться свойства-нарушители ОСС.

Реализация первого подхода затруднена не только вследствие трудностей методического и вычислительного характера при поиске абсолютно всех нормальных подмножеств множества свойств объекта (задача связана с решением логических уравнений [9, 16]), но и, очевидно, связана с необходимостью решения многокритериальной задачи выбора лучшего нормального подмножества в качестве суррогата. Второй подход, в плане реализации свободен от подобных сложностей, но малоэффективен из-за «микроскопичности» своих шагов.

Такая оценка приводит к задаче поиска эффективной реализации эвристического подхода, когда за один шаг можно было бы удалять более, чем одно свойство, нарушающее нормальность множества свойств объекта.

3. Группы сопряженных свойств. В [13] замечено, что СИС можно представить в виде пересекающихся субструктур, однородных по характеру экзистенциального сопряжения свойств-членов. Для каждого вида таких субструктур, или, иначе, групп сопряженных свойств (ГСС), легко обосновывается связь с нормальностью содержащего их подмножества измеряемых свойств и на основании таких связей открывается возможность судить о нормальности множества свойств объекта, когда это множество пересекается с характерными ГСС СИС.

Определение 1. ГСС «ВЗО-группа» есть замкнутое подмножество взаимообусловленных (ВЗО) свойств.

В частности, каждое отдельно взятое измеряемое свойство является ВЗО-группой, поскольку оно естественно самообусловлено.

Утверждение 1. ВЗО-группа может принадлежать нормальному подмножеству измеряемых свойств только целиком.

Определение 2. В ГСС «О-группа» одна группа ВЗО-свойств обуславливает другую группу ВЗО-свойств (отношение обусловленности между ВЗО-группами обобщает это отношение между свойствами в том смысле, что каждое свойство-член одной группы обуславливает все свойства-члены другой; формальный анализ этого положения имеется в [10]).

Утверждение 2. О-группа либо входит в нормальное подмножество целиком, либо своей обуславливаемой частью.

Определение 3. ГСС «Н-группа» образуют попарно несовместимые измеряемые свойства.

Утверждение 3. Н-группа может быть представлена в нормальном подмножестве только одним своим членом.

Ключевым для констатации «нормальности» любого подмножества СИС является

Утверждение 4. Подмножество СИС нормально тогда и только тогда, когда для него и пересекающихся с ним ВЗО-, О- и Н-групп справедливы утверждения 1-3.

Тогда, на основе реструктуризованной с помощью ввода субструктур СИС можно предложить метод нормализации, соблюдающий принцип эвристического подхода, но работающий не с одним свойством за один шаг, а с целой группой.

4. Метод нормализации V^{TF} -контекста на основе ГСС. Принципиальное отличие и главное содержание этой задачи – выяснение нормально или нет некоторое определенное подмножество свойств, а не выявление *всех* нормальных подмножеств СИС как в [9].

Эффективное решение задачи нормализации эмпирического формального контекста предполагает предварительную реструктуризацию системы (M, C, E) , и состоит в выполнении для каждого объекта контекста цикла, включающего описываемые далее действия.

4.1. Путём сопоставления состава свойств объекта и состава каждой ГСС выявляется локальный (для рассматриваемого объекта) статус каждой субструктуры СИС. Анализ происходит с точки зрения утверждений и определений, приведенных в разделе 3. Локальный статус ГСС может оказаться одним из следующих:

- «беспроблемная» (ГСС не представлена у объекта ни одним свойством в случае ВЗО- и О-группы, или ГСС имеет в пересечении со свойствами объекта не более одного свойства – для Н-группы);
- «проблемная» (ГСС представлена у объекта, но требует отсечения части своих свойств);
- «критическая» (ГСС является проблемной, но требуемое в этом случае отсечение части её свойств невозможно из-за присутствия в контексте абсолютно достоверного БСС);
- «потенциально проблемная» (ГСС представлена у объекта и может стать проблемной в результате отсечения части свойств у объекта);
- «потенциально критическая» (ГСС является потенциально проблемной, но при обретении в результате отсечения свойств объекта статуса «проблемной», окажется, что требуемое в этом случае отсечение части её свойств невозможно).

Если будет обнаружена хотя бы одна «критическая» ГСС, то работа завершается, констатируется невозможность нормализации, т.к. в критической группе нужно отсекалть абсолютно достоверные данные, что противоречит здравому смыслу. В данном случае говорится об обнаруженном неустранимом противоречии ОСС эмпирическим данным.

Для всех «проблемных» ГСС выявляется множество свойств-претендентов на отсечение, т.е. тех свойств, наличие которых делает ГСС «проблемной». У «проблемной» Н-группы число таких множеств будет равно количеству свойств из пересечения свойств рассматриваемой Н-группы и свойств объекта, у ВЗО-группы и О-группы устанавливается одно такое множество. Это объясняется тем, что для нормализации множества свойств объекта из состава Н-группы требуется оставить только одно свойство, применительно к ВЗО-группе – убрать все свойства из данной группы, присутствующие у объекта частично, а в случае О-группы – убрать лишь обуславливающую ВЗО-группу.

Локальные пороги доверия (ЛПД), которые необходимы для упомянутых выше отсечений, во-первых, отыскиваются как оптимальные по критерию минимального ужесточения порога доверия к эмпирическим данным, который субъект устанавливает для контекста, и, во-вторых, формируют множество конкурирующих ЛПД для действительной реализации отсечения.

4.2. Оптимизация выбора ЛПД, отсекающего часть свойств-членов «проблемной» ГСС для трансформации ее в «беспроблемную» группу у рассматриваемого объекта контекста, существенно определяется видом оценок истинности БСС. В V^{TF} -контексте в качестве этих оценок фигурируют вектора, или точки $\langle b^+, b^- \rangle$ единичного квадрата (рис. 1), что делает задачу выбора искомого ЛПД двухкритериальной. Простейшей и в нашем случае адекватной метрикой в данном пространстве может служить метрика городских кварталов, или манхэттенская метрика [17].

На рис.2 демонстрируются основные идеи, подготавливающие выбор «лучшего» ЛПД для отсечения множества свойств «проблемной» ГСС:

- $\alpha = \langle \alpha^+, \alpha^- \rangle$ – порог доверия к эмпирическим данным, установленный субъектом для V^{TF} -контекста;
- множество кружков с перекрестием (далее множество X) – векторные оценки истинности БСС, определяющие наличие у объекта множества свойств, предназначенных к отсечению;
- выделенные кружки с перекрестием – «юго-восточная» граница множества X , определяющая варианты порогов доверия, которые при любом сколь угодно малом ужесточении будут лишать рассматриваемый объект всех свойств, подлежащих отсечению;
- ромбами выделены так называемые «стыки» граничных элементов множества X , которые могут рассматриваться как действительные кандидаты для выбора «лучшего» ЛПД (с учетом необходимости их предельно малого ужесточения) для отсечения у рассматриваемого объекта множества свойств, предназначенных к отсечению.

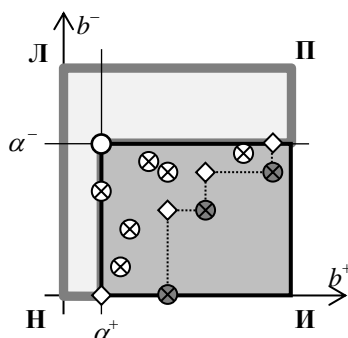


Рис. 2. Подготовка выбора лучшего локального порога доверия среди «стыков» «юго-восточного» Парето-множества векторов истинности, сопоставленных свойствам

Рис. 3 демонстрирует собственно выбор «лучшего» ЛПД среди «стыков» на основе сравнения манхэттенских расстояний « α -порог – «стык»», что, как нетрудно показать, в аппарате сравнения векторов истинности V^{TF} -логики эквивалентно поиску среди «стыков» вектора истинности, характеризующегося наименьшей достоверностью [4]:

$$\mu_d = c^+ - c^-,$$

где $\langle c^+, c^- \rangle$ – вектор-«стык».

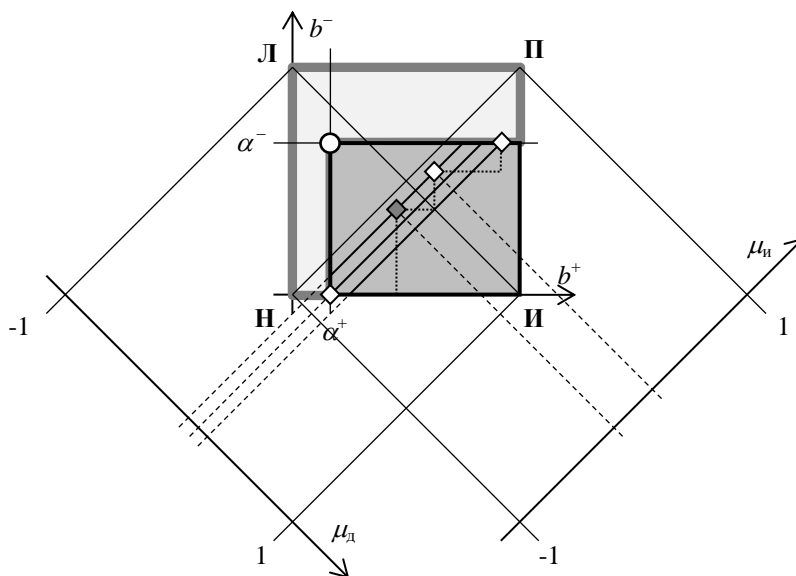


Рис. 3. Выбор «лучшего» локального порога доверия среди стыков

Наконец, на рисунке 3 показано использование V^{TF} -меры избыточности [4] для однозначного выбора «лучшего» ЛПД, если обнаружатся несколько векторов-«стыков» с наименьшей, но одинаковой достоверностью. В таком случае в качестве «лучшего» ЛПД предлагается принять вектор, представляющий «стык» (или несколько «стыков») с наименьшей избыточностью:

$$\mu_n = c^+ - c^- - 1,$$

субъективно отдавая тем самым предпочтение ЛПД-векторам с менее выраженными компонентами.

Таким образом, в результате описанных действий у каждой проблемной ГСС рассматриваемого объекта контекста отыскивается свой ЛПД (у H -группы – несколько ЛПД), применение которого делает её «беспроблемной».

4.3. Из множества найденных ЛПД проблемных ГСС с помощью очерченного в предыдущем подразделе метода выбора лучшего «стыка», выбирается «наилучший» ЛПД, с помощью которого отсекается некоторое множество свойств рассматриваемого объекта. При этом изменится не только локальный статус ГСС, чей ЛПД был признан наилучшим и реализован, но, в общем случае, и локальные статусы других групп сопряженных свойств. Поэтому действия, описанные в подразделах 4.1-4.3, повторяются до тех пор, пока имеется хотя бы одна ГСС с локальным статусом «проблемная» (либо до обнаружения неустраиваемого противоречия между ОСС и эмпирическими данными – см. подраздел 4.1).

Заключение. В статье описан эффективный метод нормализации нестроого формального контекста, основанный на эвристическом подходе [14, 15] и реструктуризации СИС [13]. Перспективной задачей является количественное подтверждение достигнутой качественной интенсификации процесса нормализации V^{TF} -контекста в онтологическом анализе данных.

Благодарности. Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (регистрационный номер НИОКТР АААА-А19-119030190053-2).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Смирнов С.В. Онтологический анализ предметных областей моделирования // Известия Самарского научного центра РАН. 2001. Т. 3. №1. С. 62-70.
2. Ganter B., Wille R. Formal Concept Analysis. Mathematical foundations. Berlin-Heidelberg: Springer-Verlag. 1999. 290 p.
3. Ferré S., Huchard M., Kaytoue M., Kuznetsov S.O., Napoli A. Formal Concept Analysis: From Knowledge Discovery to Knowledge Processing // In: Marquis, P., Papini, O., Prade, H. (eds.): A Guided Tour of Artificial Intelligence Research. V. II. AI Algorithms. Springer Int. Publishing. 2020. Pp. 411-445. DOI: 10.1007/978-3-030-06167-8_13.
4. Аршинский Л.В. Векторные логики: основания, концепции, модели. Иркутск: Иркутский гос. ун-т. 2007. 228 с.
5. Офицеров В.П., Смирнов С.В. Использование V^{TF} -логики для определения формальных контекстов и построения онтологий предметных областей // Труды XV международной конференции «Проблемы управления и моделирования в сложных системах». 2013. Самара: СамНЦ РАН. 2013. С. 291-297.
6. Семенова В.А. Выбор логической модели для представления эмпирической информации в онтологическом анализе данных // Труды XII Всероссийской научно-технической конференции аспирантов, студентов и молодых ученых «Информатика и вычислительная техника». Ульяновск: УлГТУ. 2020. С. 205-210.

7. Samoilov D.E., Semenova, V.A., Smirnov, S.V. Multilevel recursive model of properties existence constraints in machine learning. J. of Physics: Conf. Series. 1096: 012096. 2018. DOI: 10.1088/1742-6596/1096/1/012096.
8. Смирнов С.В. Две методологии вывода формальных понятий: когда и как они должны работать вместе // Материалы VII международной конференции «Знания – Онтологии – Теории». Новосибирск: Институт математики СО РАН, Новосибирский государственный ун-т. 2019. С. 355-363.
9. Lammari N., Metais E. Building and maintaining ontologies: a set of algorithms // Data & Knowledge Engineering. 2004. Vol. 48(2). P. 155-176. DOI: 10.1016/S0169-023X(03)00103-4.
10. Пронина В.А., Шипилина Л.Б. Использование отношений между атрибутами для построения онтологии предметной области // Проблемы управления. 2009. № 1. С. 27-32.
11. Гетманова А.Д. Логика. Углубленный курс. М.: КНОРУС. 2016. 192 с.
12. Ивин А.А., Никифоров А.Л. Словарь по логике. М.: Гуманит. изд. центр ВЛАДОС. 1997. 384 с.
13. Семенова В.А., Смирнов С.В. Алгоритмизация формирования и прагматической трансформации ограничений существования свойств предметной области // Онтология проектирования. 2020. Т. 10. №3(37). С. 361-379. DOI: 10.18287/2223-9537-2020-10-3-361-379.
14. Семенова В.А. Семантическая идентификация объекта в задачах концептуального моделирования // Труды Международной научно-технической конференции «Перспективные информационные технологии». Самара: СамНЦ РАН. 2016. С. 330-333.
15. Зубцов Р.О., Семенова В.А., Смирнов С.В. Алгоритмическое и программное обеспечение онтологического анализа данных // Материалы VI междунаод. науч.-тех. конф. «Открытые семантические технологии проектирования интеллектуальных систем = Open Semantic Technologies for Intelligent Systems». Минск: БГУИР. 2016. С. 83-88.
16. Закревский А.Д. Логические уравнения. М.: URSS. 2021. 96 с.
17. Деза Е.И., Деза М.М. Энциклопедический словарь расстояний. М.: Наука. 2008. 444 с.

UDK 519.677

**HEURISTICS AND NUMERICAL METHOD FOR NORMALIZING
THE EMPIRICAL CONTEXT IN ONTOLOGICAL DATA ANALYSIS**

Valentina A. Semenova

Junior researcher of laboratory “analysis and modeling of complex systems”, e-mail:
queenbfjr@gmail.com,

Samara Federal Research Scientific Center RAS,
Institute for the Control of Complex Systems RAS
443020, Samara, Russia, Sadovaya st., 61.

Annotation. The research field is ontological data analysis, which consists in the construction of formal ontologies based on empirical data on semi-structured subject domains. The subject of the research is the normalization of the empirical V^{TF} -context - a non-strict correspondence "objects-properties" - with properties existence constraints. The research objective is to develop a numerical method that implements

a heuristic approach to the normalization of empirical contexts. The work uses the methods of the theory of sets and binary relations, models and methods of formal concept analysis, as well as the existing methodology for applying the properties existence constraints to construct formal ontologies. The difference and novelty of the proposed method consists in the more efficient implementation of the heuristic approach by representing the system of measured properties - the set of properties fixed in the objects of the studied subject domain with the existence constraints on it - as a set of substructures that are homogeneous in the form of existential relation of member properties.

Keywords: ontological data analysis, empirical context, V^{TF} -logic, system of measured properties, group of related properties, normal set, Manhattan metric.

Acknowledgements. This research was funded by Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation, R&D registration numbers AAAA-A19-119030190053-2.

REFERENCES

1. Smirnov SV. Ontologicheskii analiz predmetnykh oblastey modelirovaniya [Ontological analysis of knowledge domains of modeling]. *Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra RAN = Bulletin of the Samara Scientific Center of RAS*. 2001. T. 3. № 1. P. 62-70.
2. Ganter B., Wille R. *Formal Concept Analysis. Mathematical foundations*. Berlin-Heidelberg: Springer-Verlag. 1999. 290 p.
3. Ferré S., Huchard M., Kaytoue M., Kuznetsov S.O., Napoli A. Formal Concept Analysis: From Knowledge Discovery to Knowledge Processing // In: Marquis, P., Papini, O., Prade, H. (eds.): *A Guided Tour of Artificial Intelligence Research. V. II. AI Algorithms*. Springer Int. Publishing. 2020. Pp. 411-445. DOI: 10.1007/978-3-030-06167-8_13.
4. Arshinskiy LV. *Vektornye logiki: osnovaniya, kontseptsii, modeli [Vector logics: foundations, concepts, models]*. Irkutsk: Irkutskiy gos.un-t = Irkutsk: Irkutsk state. un-t. 2007. 228 p.
5. Ofitserov VP., Smirnov SV. Ispol'zovanie VTF-logiki dlya opredeleniya formal'nykh kontekstov i postroeniya ontologiy predmetnykh oblastey [Using VTF-logic to define formal contexts and build domain ontologies] // *Trudy XV mezhdunarodnoy konferentsii "Problemy upravleniya i modelirovaniya v slozhnykh sistemah" = Proceedings of the XV International Conference "Problems of Control and Modeling in Complex Systems"*. Samara: SamNTs RAN. 2013. P. 291-297.
6. Semenova VA. Vubor logicheskoy modeli dlya predstavleniya empiricheskoy informatsii v ontologicheskoy analize dannykh [Choosing a logical model for representing empirical information in ontological data analysis] // *Trudy XII Vserossiyskoy nauchno-tehnicheskoy konferentsii aspirantov, studentov i molodykh uchyonnykh "Informatika i vychislitel'naya tehnika" = Proceedings of the XII All-Russian Scientific and Technical Conference of Postgraduates, Students and Young Scientists "Informatics and Computer Engineering"*. Ul'yanovsk: UIGTU. 2020. Pp. 205-210.
7. Samoilov D.E., Semenova, V.A., Smirnov, S.V. Multilevel recursive model of properties existence constraints in machine learning. *J. of Physics: Conf. Series*, 1096: 012096. 2018. DOI: 10.1088/1742-6596/1096/1/012096.
8. Smirnov SV. Dve metodologii vyvoda formal'nykh ponyatiy: kogda i kak oni dolzhny rabotat' vmeste [Two methodologies for the derivation of formal concepts: when and how they should work together] // *Materialy VII mezhdunarodnoy konferentsii "Znaniya – Ontologii – Teorii" = Materials of the VII International Conference "Knowledge - Ontology - Theories"*. Novosibirsk: Institut matematiki SO RAN, Novosibirskiy gos. un-t. 2019. Pp. 355-363.

9. Lammari N., Metais E. Building and maintaining ontologies: a set of algorithms // *Data & Knowledge Engineering*. 2004. Vol. 48(2). P. 155-176. DOI: 10.1016/S0169-023X(03)00103-4.
10. Pronina, VA., Shipilina, LB. Ispol'zovanie otnosheniy mezhdu atributami dlya postroeniya ontologii predmetnoy oblasti [Using the relationships between attributes to build domain ontology] // *Problemy upravleniya = Control problems*. 2009. № 1. Pp. 27-32.
11. Getmanova AD. Logika. Uglublennyy kurs [Logic. Advanced course]. M.: KNORUS. 2016. 192 p.
12. Ivin AA., Nikiforov AL. Slovar' po logike [Logic dictionary]. M.: Gumanit. izd. tsentr VLADOS. 1997. 384 p.
13. Semenova VA., Smirnov SV. Algoritmizatsiya formirovaniya i pragmaticheskoy transformatsii ogranicheniy suschestvovaniya svoystv predmetnoy oblasti [Algorithms for the formation and pragmatic transformation of Existence Constraints] // *Ontologiya proektirovaniya = Ontology of Designing*. 2020. T. 10. № 3(37). Pp. 361-379. DOI: 10.18287/2223-9537-2020-10-3-361-379.
14. Semenova VA. Semanticheskaya identifikatsiya ob'ekta v zadachah kontseptual'nogo modelirovaniya [Semantic identification of an object in problems of conceptual modeling] // *Trudy Mezhdunarodnoy nauchno-tehnicheskoy konferentsii "Perspektivnye informatsionnye tehnologii"* = *Proceedings of the International Scientific and Technical Conference "Advanced Information Technologies"*. Samara: SamNTs RAN. 2016. Pp. 330-333.
15. Zybtsov RO., Semenova VA., Smirnov SV. Algoritmicheskoe i programmnoe obespechenie ontologicheskogo analiza dannyh [Algorithmic and software for ontological data analysis] // *Materialy mezhdunarodnoy nauchno-tehnicheskoy konferentsii "Otkrytye semanticheskie tehnologii proektirovaniya intellektual'nyh system"* = *Materials of the International Scientific and Technical Conference "Open Semantic Technologies for Intelligent Systems"*. Minsk: BGUIR. 2016. Pp. 83-88.
16. Zakrevskiy AD. Logicheskie uravneniya [Logic equations]. M.: URSS. 2021. 96 p.
17. Deza E.I., Deza M.M. Entsiklopedicheskiy slovar' rasstoyaniy [Encyclopedic Dictionary of Distances]. M.: Nauka= Science. 2008. 444 p.